

(19) Japanese Patent Office (JP)

(12) **Kokai Unexamined Patent Application Bulletin (A)**

(11) **Laid Open Patent Application No.** 2007-123473
(P2007-123473A)
(43) **Publication Date** May 17, 2007
Number of Claims 6
Number of Pages 20
Examination Request yes

(51)	Int. Cl.	FI	Theme Code (ref.)
	H 01 F 10/16 (2006.01)	H 01 F 10/16	5D033
	H 01 F 41/26 (2006.01)	H 01 F 41/26	5E049
	G 11 B 5/31 (2006.01)	G 11 B 5/31 C	

(21) **Application No.:** 2005-312433 (P2005-312433)
(22) **Application Date:** October 27, 2005
(71) **Applicant:** 000010098
Alps Electric Co., Ltd.
1-7 Yukigaya-Otsuka-cho, Ota-ku, Tokyo
(74) **Agent:** 100085453
Patent Attorney, NOZAKI, Teruo
(74) **Agent:** 100121049
Patent Attorney, MIWA, Masayoshi
(72) **Inventor:** YAZAWA, Hisayuki
1-7 Yukigaya-Otsuka-cho, Ota-ku, Tokyo
Alps Electric Co., Ltd.
(72) **Inventor:** TAKAHASHI, Shio
1-7 Yukigaya-Otsuka-cho, Ota-ku, Tokyo
Alps Electric Co., Ltd.
F Term (ref.) 5D033 AA05 BA03 DA04 DA31
5E049 AA01 AA04 AA07 BA08 BA12
KC02 LC02

(54) **Title of the Invention:** Soft magnetic film, method for manufacturing the same, thin-film magnetic head using the soft magnetic film and method for manufacturing the same

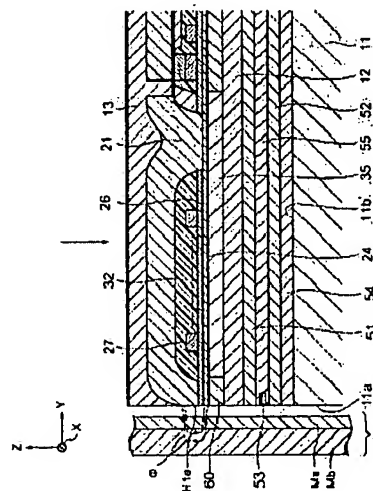
(57) **[Abstract]**

[Problem to Be Solved] An object is to provide a soft magnetic film which, while maintaining low coercivity, is capable of producing an even higher saturation flux density than was conventional, and a method for manufacturing the same.

[Means for Solving the Problem] The soft magnetic film of the present mode of embodiment is formed by plating with an FeNiCo alloy or the like, the ratio of the ionic strength of the negatively charged Fe to the ionic strength of Cl (Cl/Fe) and the ratio of said Fe ionic strength to the ionic strength of S (S/Fe), as measured by TOF-SIMS, each being less than 10. Consequently, when compared to soft magnetic films having compositional ratios wherein the magnetic elements are substantially the same, it maintains substantially the same coercivity H_c, while allowing a higher saturation flux density B_s to be obtained. By using such a soft magnetic film in the main magnetic pole layer 24, it is possible to achieve higher recording densities, and to suitably prevent erasure of the signal recorded on said recording media as a result of residual magnetization.

[Select Figure] FIG 1

FIG 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

FeとNi、あるいは、FeとCo、又は、FeとNiとCo、を有してメッキ形成され、

飛行時間型二次イオン質量分析装置による測定にて負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)、及び前記Feのイオン強度とSのイオン強度の比(S/Fe)が、夫々1.0未満であることを特徴とする軟磁性膜。

【請求項2】

前記比(Cl/Fe)は、2以下である請求項1記載の軟磁性膜。

【請求項3】

記録媒体との対向面で、トラック幅を有して構成される主磁極層と、前記主磁極層よりも広い幅寸法で形成された補助磁極層とが膜厚方向に対向して位置し、前記主磁極層と前記補助磁極層に記録磁界を与えるコイル層が設けられ、前記主磁極層に集中する垂直磁界によって、前記記録媒体に磁気データを記録する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも前記主磁極層は請求項1又は2に記載された軟磁性膜によってメッキ形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項4】

FeイオンとNiイオン、あるいは、FeイオンとCoイオン、又は、FeイオンとNiイオンとCoイオン、を含有したメッキ浴中に、塩化物及びサッカリンナトリウムを含有しないことを特徴とする軟磁性膜の製造方法。

【請求項5】

前記メッキ浴中にボウ酸を飽和状態となるまで含有する請求項4に記載の軟磁性膜の製造方法。

【請求項6】

記録媒体との対向面で、トラック幅を有して構成される主磁極層と、前記主磁極層よりも広い幅寸法で形成された補助磁極層とが膜厚方向に対向して位置し、前記主磁極層と前記補助磁極層に記録磁界を与えるコイル層が設けられ、前記主磁極層に集中する垂直磁界によって、前記記録媒体に磁気データを記録する薄膜磁気ヘッドの製造方法において、

少なくとも前記主磁極層を請求項4又は5に記載された軟磁性膜の製造方法によってメッキ形成することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、垂直記録磁気ヘッドの主磁極層に用いられる軟磁性膜に係り、特に低い保磁力 H_c を維持しながら、高い飽和磁束密度 B_s を得ることが可能な軟磁性膜及びその製造方法、ならびに前記軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ハードディスクなどの記録媒体に磁気データを高密度で記録する装置として垂直磁気記録方式がある。垂直磁気記録は長手磁気記録に比べて高記録密度化を実現する上で有利である。

【0003】

前記垂直磁気記録方式に用いられる磁気ヘッドには、基本的な構成として、記録媒体との対向面で膜厚方向に対向する主磁極層と補助磁極層（リターンヨーク）と、前記主磁極層と補助磁極層とに記録磁界を誘導するためのコイル層とが設けられている。

【0004】

前記主磁極層の前記媒体対向面はトラック幅 T_w となっており、前記主磁極層の前記媒体対向面での面積は、前記補助磁極層の前記媒体対向面の面積に比べて十分に小さくされている。

10

20

30

40

50

【0005】

垂直磁気記録方式では、前記コイル層に通電されることにより補助磁極層と、主磁極層とに記録磁界が誘導され、前記主磁極層から記録磁界が前記記録媒体に対し垂直方向に発せられる。

【0006】

前記記録媒体は、その表面に保磁力の高いハード膜と、内方に磁気透過率の高いソフト膜とを有する構成であり、垂直記録磁気ヘッドの主磁極層から前記記録媒体に向けられた垂直方向への記録磁界は、前記記録媒体のハード膜からソフト膜を通り、さらに補助磁極層に戻る磁気回路を構成する。

【特許文献1】特開2004-158818号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

高記録密度化のために前記主磁極層は高飽和磁束密度 B_s を有し、さらに低保磁力であることが必要である。飽和磁束密度 B_s が低いと、主磁極層の先端が磁気飽和に達しやすくなる等して、前記先端に磁束を適切に集中させることができなくなり記録密度の向上を図れなくなるため、前記飽和磁束密度 B_s が高いことは非常に重要である。また前記保磁力 H_c が高いと、記録時以外のときに、トラック幅 T_w の非常に小さい主磁極層から残留磁化が漏れ出して既に記録された信号を消去等してしまうため、保磁力を低くすることも重要である。

【0008】

ところで前記主磁極層を構成する軟磁性膜中には、磁性元素であるFe、Co、Ni以外の不純物元素が含まれている。不純物元素は、飛行時間型二次イオン質量分析装置(TOF-SIMS)によって定量分析できる。

【0009】

しかし、前記不純物元素の軟磁性膜中に取り込まれる量は微量(ppm単位程度)で、前記不純物元素が軟磁気特性に大きな影響を及ぼさないと考えられたことから、特に、従来では前記不純物元素の濃度をコントロールすることは成されていなかった。

【0010】

例えば、特許文献1は、CoFe合金の発明であり、メッキ浴中に従来、含有されていたザッカリンナトリウムを含まないというものである。これにより飽和磁束密度 B_s は上昇するとしている。しかし特許文献1では、ザッカリンナトリウム以外のメッキ浴に由来から通常、含まれている添加物に関して、何ら調整することなく、当然、このような添加物の量と飽和磁束密度 B_s との関係等について言及していない。

【0011】

例えば特許文献1の【0092】欄～【0096】欄に記載されているように、メッキ浴中にはNaClが添加される。NaClはメッキ浴の伝導性を高めるためのものであり、通常、メッキ浴中に含有されるものである。NaClでなく、塩化アンモニウムが含有されるときもある。いずれにしてもメッキ浴の伝導性を高めないと、均一電着性が悪化するため、塩化物をメッキ浴中に含有することは従来から当然のこととして行われていた。Clは軟磁性膜の組成を蛍光X線(XRF)等で分析しても検出されないが、上記したTOF-SIMSによれば、負の電荷を持つ2次イオンとして検出される。すなわちClは軟磁性膜中に微量ながら含まれている。そして従来では、Clのような不純物元素を特に規制することはしていなかった。

【0012】

そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、特に、飛行時間型二次イオン質量分析装置による測定にて負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)等を適正化して、従来に比べて、低保磁力を維持しながら、さらに高い飽和磁束密度を得ることが可能な軟磁性膜とその製造方法、さらに前記軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド及びその製造方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明における軟磁性膜は、

FeとNi、あるいは、FeとCo、又は、FeとNiとCo、を有してメッキ形成され、

飛行時間型二次イオン質量分析装置による測定にて負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)、及び前記Feのイオン強度とSのイオン強度の比(S/Fe)が、夫々1.0未満であることを特徴とするものである。

【0014】

上記により、低保磁力を維持しながら、従来に比べて高い飽和磁束密度を得ることが可能になる。 10

【0015】

本発明では、前記比(Cl/Fe)は、2以下であることが好ましい。これにより、より高い飽和磁束密度を得ることが出来る。

【0016】

また本発明は、記録媒体との対向面で、トラック幅を有して構成される主磁極層と、前記主磁極層よりも広い幅寸法で形成された補助磁極層とが膜厚方向に対向して位置し、前記主磁極層と前記補助磁極層に記録磁界を与えるコイル層が設けられ、前記主磁極層に集中する垂直磁界によって、前記記録媒体に磁気データを記録する薄膜磁気ヘッドにおいて

少なくとも前記主磁極層は上記に記載された軟磁性膜によってメッキ形成されていることを特徴とするものである。これにより前記主磁極層は高飽和磁束密度と低保磁力の双方を兼ね備えたものになり、高記録密度化に適切に対応できるとともに残留磁化の発生を抑制できる。前記残留磁化の発生を抑制できることで、残留磁化による記録信号の消去の問題を効果的に抑制できる。 20

【0017】

本発明における軟磁性膜の製造方法は、

FeイオンとNiイオン、あるいは、FeイオンとCoイオン、又は、FeイオンとNiイオンとCoイオン、を含有したメッキ浴中に、塩化物及びサッカリンナトリウムを含有しないことを特徴とするものである。 30

【0018】

本発明では、従来ではメッキ浴の伝導性を高めるために含有されていたNaCl等の塩化物を含有しない。また塩化物とともにサッカリンナトリウムも添加しない。これにより、飛行時間型二次イオン質量分析装置にて測定したときに、負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)、及び前記Feのイオン強度とSのイオン強度の比(S/Fe)が夫々1.0未満となる軟磁性膜を、簡単且つ適切に形成することが出来る。

【0019】

また本発明では、前記メッキ浴中にホウ酸を飽和状態となるまで含有することが好ましい。本発明では上記のようにメッキ浴の伝導性を高めるためのNaCl等の塩化物を含有しないことが好ましく、かかる場合、メッキ浴の抵抗が大きくなり、均一電着性が悪化しやすくなる。そこでメッキ浴のpH変動を抑制するために、ホウ酸をメッキ浴中での飽和濃度近くまで添加することで、均一電着性を向上させることができる。 40

【0020】

本発明は、記録媒体との対向面で、トラック幅を有して構成される主磁極層と、前記主磁極層よりも広い幅寸法で形成された補助磁極層とが膜厚方向に対向して位置し、前記主磁極層と補助磁極層に記録磁界を与えるコイル層が設けられ、前記主磁極層に集中する垂直磁界によって、前記記録媒体に磁気データを記録する薄膜磁気ヘッドの製造方法において、

少なくとも前記主磁極層を上記のいずれかに記載された軟磁性膜の製造方法によってメ 50

メッキ形成することを特徴とするものである。

【0021】

これにより前記主磁極層を低保磁力を維持しつつ、従来に比べて高い飽和磁束密度を有する磁性層として容易に且つ適切にメッキ形成できる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、低保磁力を維持しつつ、従来に比べて高い飽和磁束密度 B_s を有する軟磁性膜を形成することができる。

【0023】

特に本発明では、メッキ浴中に、従来から添加されていた NaCl 等の塩化物、及びサッカリンナトリウムを添加しない。これにより、飛行時間型二次イオン質量分析装置にて測定したときに、負の電荷を帯びた Fe のイオン強度と Cl のイオン強度の比 (Cl/Fe) 、及び前記 Fe のイオン強度と S のイオン強度の比 (S/Fe) が夫々10未満となる軟磁性膜を、簡単且つ適切に形成することが出来る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

図1は本実施形態の垂直磁気記録ヘッドの構造を示す断面図である。

図中、X方向はトラック幅方向、Y方向はハイト方向、Z方向は高さ方向である。各方向は残り2つの方向に対し直交する関係にある。「記録媒体との対向面」とはX-Z平面と平行な方向の面である。図1はY-Z平面と平行な方向から切断して示した断面図である。

【0025】

図1に示す垂直磁気記録ヘッド（薄膜磁気ヘッド）は記録媒体Mに垂直磁界を与え、記録媒体Mのハード膜Maを垂直方向に磁化させるものである。

【0026】

前記記録媒体Mは例えばディスク状であり、その表面に保磁力の高いハード膜Maが、内方に磁気透過率の高いソフト膜Mbを有しており、ディスクの中心が回転軸中心となつて回転させられる。

【0027】

前記垂直磁気記録ヘッドのスライダ11は Al_2O_3 ・ TiC などの非磁性材料で形成されており、スライダ11の対向面11aが前記記録媒体Mに対向し、前記記録媒体Mが回転すると、表面の空気流によりスライダ11が記録媒体Mの表面から浮上し、またはスライダ11が記録媒体M上に摺動する。図1においてスライダ11に対する記録媒体Mの移動方向はZ方向である。

【0028】

前記スライダ11のトレーリング側端面11bには、 Al_2O_3 または SiO_2 などの無機材料による非磁性絶縁層54が形成されて、この非磁性絶縁層の上に下部シールド層52が形成される。前記下部シールド層52上には、下部ギャップ層を介して、磁気抵抗効果素子53が形成される。前記磁気抵抗効果素子53上には上部ギャップ層を介して上部シールド層51が形成される。図1では、下部ギャップ層及び上部ギャップ層を合わせて一つの絶縁層55として表されている。前記上部シールド層51上には Al_2O_3 または SiO_2 などの無機材料による絶縁層12が形成されて、前記絶縁層12の上に、垂直磁気記録ヘッドが設けられている。そして垂直磁気記録ヘッドは無機非磁性絶縁材料などで形成された保護層13により被覆されている。そして前記垂直磁気記録ヘッドの記録媒体との対向面H1aは、前記スライダ11の前記対向面11aとほぼ同一面となっている。

【0029】

前記絶縁層12上には、磁性材料で形成されたヨーク層35が形成されている。前記ヨーク層35は、前記対向面H1aからハイト方向（図示Y方向）に離れた位置に形成され、前記ヨーク層35の前面には絶縁層60が形成されている。

【0030】

図1では、前記絶縁層60上から前記ヨーク層35上にかけて主磁極層24が形成されている。前記主磁極層24上には、絶縁材料で形成されたギャップ層26が形成され、前記ギャップ層26上にはコイル層27が形成されている。前記コイル層27上は有機絶縁層32によって覆われている。

【0031】

図1に示すように前記有機絶縁層32上にはパーマロイ(Ni-Fe)などの強磁性材料がメッキされて補助磁極層21が形成されている。前記補助磁極層21は、前記対向面H1aで前記主磁極層24と前記ギャップ層26を介して対向している。またハイト側の基部では、前記主磁極層24上に磁氣的に接合されている。

10

【0032】

図3の平面図に示すように、前記主磁極層24は、その前端面24cのトラック幅方向(図示X方向)の幅寸法がトラック幅Twで形成され、ほぼ前記トラック幅Twで形成された細長形状の先端部24aと前記先端部24aのハイト側(図示Y方向)に形成され、トラック幅方向(図示X方向)への幅寸法Wyが、前記対向面H1aから離れる方向に従って徐々に広がる後端部24bとで構成される。また図3に示すように、前記対向面H1aに現れている前記補助磁極層21の前端面21bのトラック幅方向の幅寸法Wrよりも、前記対向面H1aに現れている前記主磁極層24の前端面24cのトラック幅Twが十分に小さくなっている。また図1に示すように前記補助磁極層21の厚みよりも主磁極層24の厚みが小さくなっている。よって、前記対向面H1aに現れている前記主磁極層24の前端面24cの面積は、補助磁極層21の前端面21bの面積よりも十分に小さくなっている。また、主磁極層24の厚みは、ヨーク層35の厚みよりも小さい。具体的には前記主磁極層24のトラック幅Twは0.1~0.2 μ m程度、高さ寸法は0.2~0.3 μ m程度まで小さく形成される。

20

【0033】

図1に示す垂直記録磁気ヘッドの構造は一例である。例えば図2に示すように、前記主磁極層24が前記補助磁極層21よりも上方に位置し、前記主磁極層24と補助磁極層21とがハイト側で接続層25を介して磁氣的に接続されている構造であってもよい。図2に示す符号56は、コイル絶縁下地層、符号57はギャップ層である。なお図2に付された図1と同じ符号は図1と同じ層を示している。

30

【0034】

図1及び図2に示す垂直記録磁気ヘッドでは、前記主磁極層24の前記対向面H1a側に向く前端面24cは、前記補助磁極層21の前記対向面H1a側に向く前端面21baに比べて十分に小さい面積であり、前記コイル層27に記録電流が与えられると、コイル層27を流れる電流の電流磁界によって補助磁極層21と主磁極層24に記録磁界が誘導される。そして前記主磁極層24の前端面24cに洩れ記録磁界の磁束 ϕ が集中し、この集中している磁束 ϕ により前記ハード膜Maが垂直方向へ磁化されて、磁気データが記録される。

【0035】

図1及び図2に示す主磁極層24は、FeとNi、あるいはFeとCo、又は、FeとNiとCoとを有してメッキ形成され、飛行時間型二次イオン質量分析装置による測定にて負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)、及び前記Feのイオン強度とSのイオン強度の比(S/Fe)が、未だ10未満である。

40

【0036】

飛行時間型二次イオン質量分析装置(Time-Of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry)以下、TOF-SIMSという)には、ION-TOF社製の型式TOF-SIMS Vを使用し、定量化分析を行う。前記TOF-SIMSでは、高真空中で、高速のイオンビーム(1次イオン)を固定試料表面にぶつけ、スパッタリング現象によって表面の構成成分をはじき飛ばし、このとき発生する正または負の電荷を帯びたイオン(2次イオン)を電場により一方向に飛ばして、一定距離離れた位置で検出を行う。スパッタの際には様々な質量(Ma

50

ss) をもった2次イオンが発生する。本実施形態では、200程度までの質量を持つ2次イオンの量(イオン強度)を測定している。なお上記したように前記TOF-SIMSでは、正の電荷を帯びた2次イオンと、負の電荷を帯びた2次イオンの双方を測定できるが、同時に異なる電荷を帯びた2次イオンの強度を測定することは出来ない。

【0037】

そこで本実施形態では、負の電荷を帯びた2次イオンに着目し、負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)を10未満と規定した。

【0038】

さらに本実施形態では、前記TOF-SIMSによる測定にて負の電荷を帯びたFeのイオン強度とSのイオン強度の比(S/Fe)を、10未満に規定した。

10

【0039】

このように、本実施形態では、不純物元素であるClやSの軟磁性膜中での量を小さくすることで、磁性元素がほぼ同じ組成比を有するとともに前記比(Cl/Fe)あるいは比(S/Fe)が本実施形態より小さい軟磁性膜(比較例)と対比したときに、ほぼ同等の保磁力Hcを維持しつつ、より高い飽和磁束密度Bsを得ることが可能になる。このような軟磁性膜を主磁極層24に使用することで、高記録密度化を実現できるとともに、前記主磁極層24から記録媒体に向けて発生する残留磁化量を従来に比べて適切に小さくでき、この結果、前記残留磁化により前記記録媒体に記録された信号が消去されるのを適切に防ぐことが出来る。

【0040】

20

なお本実施形態において前記比(Cl/Fe)を10未満としたのは、10が、NaClが含有されたメッキ浴を使用した場合の限界値だからである。本実施形態では、メッキ浴中に伝導性を高めるためのNaClを添加しないが、NaClを添加した場合(比較例)でも、パルス電流の電流密度を下げていけば、前記比(Cl/Fe)をある程度、小さくできる。しかしパルス電流の電流密度を5(mA/cm^2)程度まで下げても、前記比(Cl/Fe)を10程度までしか下げることが出来ず、これ以上、パルス電流の電流密度を下げてしまうと、保磁力の低減が困難で、良好な軟磁性特性を得ることができず、最悪の場合、メッキ形成そのものが不可能となるため、従来のようにメッキ浴中にNaClを添加した場合の、前記比(Cl/Fe)の限界は10であった。一方、本実施形態では、メッキ浴中にNaClを添加せず、かかる場合、前記比(Cl/Fe)を10未満に抑えることができたため、本実施形態では、前記比(Cl/Fe)を10未満と規定した。なお前記比(Cl/Fe)は2以下であることが好ましい。後述する実験によれば本実施形態の軟磁性膜は、前記前記比(Cl/Fe)が2以下であった。これにより、より適切に高い飽和磁束密度Bsを得ることが可能になる。なお、前記比(Cl/Fe)が0になるのが最も好ましい。

30

【0041】

また、本実施形態において前記比(S/Fe)を10未満としたのは、本実施形態での軟磁性膜の前記比(S/Fe)が10未満であるとともに、本実施形態では含有しないサッカリナトリウムを含有するメッキ浴を使用して形成された軟磁性膜(比較例)の前記比(S/Fe)が少なくとも10以上であったためである。

40

【0042】

本実施形態では主磁極層24は、FeCoNi合金で形成され、Feの平均組成比aは、66~79質量%の範囲内、Coの平均組成比bは、6.5~25.5質量%の範囲内、Niの平均組成比cは、8.5~20.5質量%の範囲内であり、 $a+b+c=100$ 質量%であることが好ましい。あるいは前記主磁極層24は、FeCo合金、FeNi合金で形成されてもよく、前記主磁極層24がFeCo合金で形成されるとき、Feの平均組成比dは、60~80質量%の範囲内、Coの平均組成比eは、20~40質量%の範囲内、 $d+e=100$ 質量%、また前記主磁極層24がFeNi合金で形成されるとき、Feの平均組成比fは、70~95質量%の範囲内、Niの平均組成比gは、5~30質量%の範囲内、 $f+g=100$ 質量%となっている。

50

【0043】

上記のように軟磁性膜中、Feが主成分として含まれる。Fe組成比は高い飽和磁束密度Bsを得る上で組成比がCoやNiに比して高いことが必要である。

【0044】

なお厳密に言えば、軟磁性膜中には、不純物元素が含まれているため、磁性元素の組成比を足した組成比は100質量%にならないはずであるが、前記不純物元素の含有量は極めて小さいために（単位としてはppm）、例えば蛍光X線（XRF）を用いて測定したときに、前記不純物元素の組成比を測定できない。よって上記では磁性元素を足した組成比を100質量%としている。

【0045】

前記主磁極層24が上記組成比を有する軟磁性膜により形成されることで、前記主磁極層24の保磁力Hcを低く保ちながら、飽和磁束密度Bsを適切に高く出来る。具体的には前記保磁力Hc（例えば磁化容易軸方向での保磁力）を、10e～250e（約79A/m～約197.5A/m）の範囲内に抑えることが出来る。また飽和磁束密度Bsを2.0T以上、より好ましくは2.1T以上に出来る。

【0046】

また、負の電荷を帯びたFeのイオン強度は、Clのイオン強度やSのイオン強度との比を規定する際の分母であるから、この分母の値が組成比によって大きく変動しては、前記比（Cl/Fe）、（S/Fe）を1.0未満に規定しても、前記比だけでは、軟磁性膜中のCl量及びS量の程度が不明確であるが、上記した組成範囲内では、前記TOF-SIMSで測定した負の電荷を帯びたFeのイオン強度はさほど変わらないことが後述する実験により証明されている。よって、負の電荷を帯びたFeのイオン強度は、Clのイオン強度との比を規定する際の分母としては最適であり、前記比（Cl/Fe）、（S/Fe）によって、軟磁性膜中のCl量及びS量の程度を適切に表すことが可能である。

【0047】

なお「平均組成比」は蛍光X線（XRF）を用いて測定される。XRFにはSII社製の型式SEA5120が使用される。XRFでは、微小領域で生じる組成変動に対して、十分に広いエリアと深さ方向から発生する特性X線を分析し、平均的な組成比測定を行うものである。

【0048】

本実施形態の軟磁性膜（主磁極層24）の製造方法について説明する。本実施形態では、前記軟磁性膜を電解メッキ法を用いてメッキ形成する。本発明では前記電解メッキ工程に用いるメッキ浴に、FeNi合金をメッキ形成するには、FeイオンとNiイオンと、FeCo合金をメッキするには、FeイオンとCoイオンと、FeNiCo合金をメッキ形成するには、FeイオンとNiイオンとCoイオンとを含有させる。

【0049】

ただし本実施形態では、通常、メッキ浴中に含有されるNaCl及びサッカリンナトリウム（C₆H₄CONNaSO₂）（応力緩和剤）を添加しない。NaClは、伝導性を高めるために、通常メッキ浴中に添加されるものであるが、本実施形態では、あえて、NaClを添加しない。また伝導性を高める目的として、従来ではNaCl以外の塩化物を添加する場合もあるが、本実施形態では、NaClに係らず塩化物を添加しないことが好ましい。すなわち本実施形態ではメッキ浴中にClイオンが含有されていない状態であることが好ましい。ただし不可避免的にメッキ浴中に塩素が入る場合もあるが、本実施形態では、かかる場合までも排除するものでない。「不可避免的な塩素」とは溶媒、溶質中に残留する塩素成分や、空気中の塩素成分であったり、メッキ槽に付着していた塩素成分等である。

【0050】

Clイオンを添加していないメッキ浴からメッキ形成された軟磁性膜（実施形態）をTOF-SIMSにて測定したとき、負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比（Cl/Fe）は、塩化物を添加したメッキ浴からメッキ形成された軟磁性膜（比

10

20

30

40

50

較例)の前記比(Cl/Fe)よりも小さくなり、上記したように、本実施形態では、前記比(Cl/Fe)を1.0未満に出来る。なお、メッキ浴中に塩化物が添加されなければ、前記比(Cl/Fe)は、0になると考えられるが、上記したように不可避免的に塩素がわずかにメッキ浴中に入ることがあるため、前記比(Cl/Fe)が0にならない場合があるものの、後述する実験によれば、少なくとも前記比(Cl/Fe)を1.0未満、好ましくは2以下に抑えることが可能である。

【0051】

また、本実施形態では、メッキ浴中にサッカリンナトリウムを添加しないので、本実施形態の軟磁性膜を前記 TOF-SIMS にて測定したとき、負の電荷を帯びた Fe のイオン強度と S のイオン強度の比(S/Fe)を小さくでき、後述する実験では前記比(S/Fe)を1.0未満に抑えることが出来ることがわかった。ただし、メッキ浴中には、 FeSO_4 等の硫酸塩が含有されるので、メッキ浴中に S を含む陰イオン(SO_4^{2-})は存在するが、サッカリンナトリウムを含有しないことで、サッカリンナトリウムを含有したメッキ浴から形成された軟磁性膜(比較例)の前記比(S/Fe)に比べて、本実施形態の軟磁性膜の前記比(S/Fe)を大幅に小さくできる。本実施形態では、前記サッカリンナトリウムをメッキ浴中に加えないことで、前記比(S/Fe)を1.0未満に出来る。

【0052】

ところで、本実施形態ではメッキ浴中に NaCl を添加しないため、メッキ浴の伝導性が低下し均一電着性が悪化する可能性がある。そこで本実施形態では、メッキ浴環境を整えるべく、ホウ酸(H_3BO_3)を従来よりも多く添加することが好ましい。従来、前記ホウ酸は、2.5(g/l)程度添加していたので、本実施形態では、少なくとも前記ホウ酸を2.5(g/l)よりも多く添加し、特に前記ホウ酸を前記メッキ浴中で飽和状態となる程度まで含有することが好ましい。これにより前記メッキ浴の pH の変動を抑制でき、均一電着性を良好に保つことが可能である。

【0053】

以上により、本実施形態のメッキ浴中には、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 H_3BO_3 を添加し、さらに例えばマロン酸を少量(例えば0.02 g/l 程度)加える。前記マロン酸を加えると軟磁性膜の結晶性が良好になり(緻密な膜となり)、飽和磁束密度 B_s の向上及び保磁力 H_c の低減を促進させることが可能になる。例えば、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を5.6~14(g/l)程度、 $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を0.6~4.6(g/l)程度、 $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ を4~12(g/l)程度、 H_3BO_3 を3.0(g/l)程度加える。

【0054】

また本実施形態では、図6に示す変調パルスを用いた電解メッキ法にて軟磁性膜(主磁極層24)をメッキ形成する。

【0055】

図6に示すように、まずON時の電流密度(通電電流密度)が I_1 であり、ON時間が $T1a$ (秒)、OFF時間が $T1b$ (秒)のパルス電流を $T1$ (秒)流す。次に電流密度が前記電流密度 I_1 よりも大きい I_2 であり、ON時間が $T2a$ 、OFF時間が $T2b$ のパルス電流を $T2$ (秒)流す。

【0056】

図6に示すように高い電流密度 I_2 を有するパルス電流と低い電流密度 I_1 を有するパルス電流とを交互に繰返し周期的に流し、前記軟磁性膜を電解メッキしていく。なお図6では、パルス電流の電流密度が高いときは全て I_2 、パルス電流の電流密度の低いときは全て I_1 であるが、この値が周期毎で異なるように設定してもよい。

【0057】

このような変調パルスを用いることで、均一電着性をより適切に向上させることができる。なおデューティ比は0.1~0.5程度にすることが好ましい。また電流密度は高いときで20 mA/cm^2 (平均)程度、電流密度は低いときで5.5 mA/cm^2 (平均)程度に設定する。

10

20

30

40

50

【0058】

上記のようにしてメッキ形成された高飽和磁束密度で且つ低保磁力の軟磁性膜は、図1ないし図3で説明した垂直記録磁気ヘッドの主磁極層2・4のみならず、補助磁極層2・1やヨーク層3・5に使用されてもよいし、さらに垂直記録磁気ヘッド以外の薄膜磁気ヘッドに使用されてもよい。

【0059】

図4は、別の本実施形態における薄膜磁気ヘッド（長手磁気記録ヘッド）の正面図（記録媒体との対向面から見た面）、図5は図4に示すA-A線から切断し矢印方向から見た断面図、である。なお図4には、下部コア層（上部シールド層）よりも下側にある層は図示されていない。なお図1、図2と同じ符号が付けられている層は図1、図2と同じ層を示している。

【0060】

図5では、絶縁層55の上にNiFe合金等で形成された下部コア層67が形成されている。前記下部コア層67は再生ヘッドの上部シールド層を兼ねる。図5に示すように前記下部コア層67上には記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）に離れた位置にレジストなどで形成されたGd決め層68が形成され、前記Gd決め層68上から前記対向面方向に、磁極部64が形成されている。前記磁極部64は例えば下から下部磁極層61、ギャップ層62、上部磁極層63の順に積層されている。これら3層は連続メッキで形成されたものである。ギャップ層62はメッキ可能な非磁性材料であるNiP等で形成される。磁極部64は非常に狭い空間内にメッキ形成されたものである。図4に示すように磁極部64のトラック幅方向（図示X方向）の寸法でトラック幅Twが規制される。また図5に示すように前記磁極部64の奥行き寸法も下部コア層67などと比べて非常に短くなっている。トラック幅Twは1.0μm以下で、好ましくは0.5μm以下、より好ましくは0.2μm以下で、奥行き寸法は1.0μm～3.0μm程度である。高さ寸法は、前記トラック幅Twの5.0～20.0倍程度である。

【0061】

図4及び図5に示すように前記磁極部64のトラック幅方向（図示X方向）の両側及びハイト側には絶縁層66が形成されている。前記上部磁極層63上には上部コア層65が形成され、前記上部コア層65のハイト方向の後端部は接続層25に磁氣的に接続されている。

【0062】

図5に示す実施形態では、上部磁極層63、又は下部磁極層61、あるいは上部磁極層63および下部磁極層61が本実施形態における軟磁性膜でメッキ形成されることが好ましい。これにより、前記上部磁極層63、又は下部磁極層61、あるいは上部磁極層63および下部磁極層61の保磁力Hcを低く抑えながら飽和磁束密度Bsを高くでき、高記録密度化に優れた薄膜磁気ヘッドを製造することが可能になる。

【実施例】

【0063】

（実施例の軟磁性膜）

以下のメッキ浴を用いて、組成比の異なる複数のFeCoNi合金をメッキ形成した。

【0064】

（メッキ浴組成）

FeSO₄・7H₂O 5.6～14（g/l）
 CoSO₄・7H₂O 0.6～4.6（g/l）
 NiSO₄・6H₂O 4～12（g/l）
 H₃BO₃ 3.0（g/l）
 マロン酸 0.02（g/l）
 NaCl 0（g/l）
 ラウリル硫酸Na 0（g/l）

【0065】

10

20

30

40

50

〔浴条件〕

浴温度 30℃

pH 3.1～3.2

パルス電流の電流密度（高）（ピーク）20 mA/cm²

パルス電流の電流密度（低）（ピーク）5.5 mA/cm²

デューティー比 0.15

〔0066〕

上記電流密度による変調パルスを用いて上記したメッキ浴から、以下の表1に示す複数のFeCoNi合金を得た。

〔0067〕

〔表1〕

表1

実施例	Fe [wt%]	Co [wt%]	Ni [wt%]	保磁力(容易軸) Hc(E.A) [Oe]	保磁力(困難軸) Hc(H.A) [Oe]	異方性磁界 Hk [Oe]	飽和磁束密度 Bs [T]
1	10.25	9.54	20.21	1.04	0.85	9.75	1.99
	73.03	8.51	18.46	1.50	0.80	6.20	2.01
	74.94	8.10	16.96	1.60	0.28	8.20	2.02
	76.71	7.78	15.52	1.40	0.60	6.15	2.05
	77.10	7.20	15.70	1.68	0.65	5.35	2.06
	78.88	6.55	14.57	1.65	0.70	4.50	2.04
	77.93	7.48	14.59	1.75	1.08	6.25	2.05
	75.12	10.50	14.39	1.95	1.45	7.85	2.08
	73.16	12.99	13.85	2.30	0.88	6.15	2.09
	73.34	12.36	14.30	1.88	0.80	6.25	2.09
	71.10	14.47	14.44	1.70	0.65	8.40	2.07
	69.18	17.31	13.52	1.74	0.70	9.40	2.10
	69.70	18.60	11.70	2.08	0.80	9.45	2.10
	68.91	19.66	11.43	2.30	1.40	11.00	2.12
	70.32	19.06	10.62	2.50	1.00	9.10	2.14
	70.41	18.61	10.99	1.64	0.95	10.05	2.11
	69.35	18.34	12.32	1.52	0.90	11.30	2.08
2	68.93	20.74	10.33	2.00	1.20	10.35	2.14
	67.14	23.20	9.66	2.38	0.90	11.40	2.13
	66.65	23.20	10.16	1.90	0.85	13.10	2.12
	65.38	25.28	9.34	2.28	0.95	15.20	2.12
	69.28	21.96	8.76	2.52	1.60	12.70	2.12
	66.15	23.61	10.25	1.40	0.75	14.15	2.09
	67.75	23.64	8.61	1.72	1.05	12.05	2.10

〔0068〕

〔比較例の軟磁性膜〕

以下のメッキ浴を用いて、組成比の異なる複数のFeCoNi合金をメッキ形成した。

〔0069〕

〔メッキ浴組成〕

FeSO₄・7H₂O 7.0～22 (g/l)

CoSO₄・7H₂O 0.8～7.4 (g/l)

NiSO₄・6H₂O 1.0 (g/l)

H₃BO₃ 2.5 (g/l)
 マロン酸 0.01 (g/l)
 NaCl 2.5 (g/l)
 ラウリル硫酸Na 0.01 (g/l)

【0070】

(浴条件)

浴温度 30℃

pH 3.1~3.2

パルス電流の電流密度(高)(ピーク) 2.0 mA/cm²

パルス電流の電流密度(低)(ピーク) 5.5 mA/cm²

デューティ比 0.15

【0071】

上記電流密度による変調パルスを用いて上記したメッキ浴から、以下の表2に示す複数のFe-Co-Ni合金を得た。

【0072】

【表2】

表2

比較例	Fe [wt%]	Co [wt%]	Ni [wt%]	保磁力(容易軸) Hc(E.A) [Oe]	保磁力(困難軸) Hc(H.A) [Oe]	異方性磁界 HK [Oe]	飽和磁束密度 Bs [T]
1	78.51	8.15	15.35	6.1	2.7		2.00
	68.40	10.99	20.61	0.8	0.3	11.5	1.97
	71.26	9.18	19.56	1.1	0.5	9.9	1.97
	75.58	8.06	16.37	1.1	0.5	6.3	2.02
	79.23	7.10	13.67	1.3	0.9	6.1	1.98
	81.51	6.31	12.19	1.4	0.7	4.2	2.01
	78.60	9.68	11.73	1.6	0.9	5.4	1.99
	80.69	8.36	10.96	1.9	1.1	4.5	1.98
	79.04	10.92	10.05	1.7	0.9	5.4	2.03
	77.32	13.39	9.29	2.2	1.1	6.3	2.03
	73.60	15.64	10.76	2.0	1.8	11.3	2.03
	75.71	15.33	8.96	2.8	1.7	6.8	2.06
	79.13	12.33	8.55	2.6	1.6	5.1	2.04
	78.96	14.82	8.22	2.2	1.2	5.1	2.05
	74.07	18.45	7.48	2.5	1.9	10.2	2.04
2	71.72	21.18	7.10	3.4	1.6	7.6	2.09
	73.91	19.66	6.43	3.5	1.7	7.3	2.06
	70.14	22.12	7.75	2.6	1.1	10.6	2.05
	72.07	20.83	7.11	3.5	1.7	8.2	2.07
	75.41	18.59	6.00	3.5	1.8	7.0	2.04
	71.69	23.26	6.05	5.3	2.8	8.0	2.07
	67.30	26.85	5.85	7.8	3.3	6.3	2.03

【0073】

表1に示される複数の実施例の試料から2つの実施例1、2の試料を取り出した。また表2に示される複数の比較例の試料から2つの比較例1、2の試料を取り出した。実施例1の試料は実施例2に比べてFe量が約10質量%程度大きい。比較例1の試料は実施例1の試料とほぼ同じFe量であり、比較例2の試料は実施例2の試料とほぼ同じFe量で

10

20

30

40

50

ある。これら4つの試料の飽和磁束密度 B_s を抽出し、グラフにまとめたものが図7である。グラフでは、Fe量がほぼ同じである実施例1と比較例1の試料どうし、実施例2と比較例2の試料どうしを比較してみた。

【0074】

図7に示すように、実施例1の試料の飽和磁束密度 B_s は、比較例1の試料の飽和磁束密度 B_s よりも高くなり、同様に、実施例2の試料の飽和磁束密度 B_s は、比較例2の試料の飽和磁束密度 B_s よりも高くなることがわかった。実施例ではいずれも飽和磁束密度 B_s が2.0 Tを超えた。また表1、表2を見ると、実施例1の試料の保磁力 H_c は、比較例1の試料の保磁力 H_c と同程度で、同様に、実施例2の試料の保磁力 H_c は、比較例2の試料の保磁力 H_c と同程度であることがわかった。

10

【0075】

このように、磁性元素の組成比がほぼ同じとき、実施例では、比較例と同程度の低い保磁力 H_c を維持できるとともに、比較例よりも高い飽和磁束密度 B_s を得ることが出来ることがわかった。

【0076】

次に、上記した実施例1、2および比較例1、2の試料を用いて、TOF-SIMSにより各試料の定量分析を行った。なおTOF-SIMSには、ION-TOF社製の型式TOF-SIMS Vを使用した。まず前記TOF-SIMSの測定にて負の電荷を帯びた二次イオンの強度を質量が200程度のものまで求めた。以下の表3は、負の電荷を帯びた二次イオンの一部を抜粋したものである。

20

【0077】

【表3】

表3

	H(1)	O(16)	OH(17)	BO(26)	BO(27)	S(32)	Cl(35)	Cl(37)	BO2(43)	Fe(56)
比較例1	62593	1811533	1839969	64801	242968	26490	1544884	495941	450501	21187
比較例2	33875	1238182	882110	43962	156428	42589	1459064	464881	301485	18183
実施例1	18339	1131029	300727	19767	69992	115079	12057	3902	136235	22528
実施例2	19772	1432352	297934	22598	81168	156163	27960	8888	163758	20119

【0078】

表3に示す括弧書きは質量を示している。表3に示すように、実施例1、2のCl(35)及びCl(37)のイオン強度は、比較例1、2のCl(35)及びCl(37)のイオン強度に比べてかなり小さくなっていることがわかった。

10

20

30

40

50

【0079】

また表3に示すように、負の電荷を帯びたFe(56)のイオン強度は、実施例1、2及び比較例1、2でさほど大きく変わらないことがわかった。例えば実施例1と実施例2では、軟磁性膜中に占めるFe量は10質量%程度も異なるのに、負の電荷を帯びたFe(56)のイオン強度は実施例1と実施例2とでさほど変わっていない。Cl、S、及びFeを除く他の負の電荷を帯びた二次イオンの強度を見ると、実施例1、2及び比較例1、2ではばらつきが大きい。よって、負の電荷を帯びたFeのイオン強度を、Clのイオン強度との比を求める上での分母にすることとした。

【0080】

比(Cl/Fe)は、表3に示すCl(35)とCl(37)の強度を合計し、その合計したイオン強度を、負の電荷を帯びたFe(56)のイオン強度で割る。同様に、表3から各試料の比(S/Fe)を求めた。

【0081】

まず、比(Cl/Fe)をまとめたグラフが図8である。図8では、さらに比較例3～4の軟磁性膜のTOF-SIMSの測定による前記比(Cl/Fe)が掲載されている。

【0082】

比較例3の軟磁性膜の形成のために使用したメッキ浴組成は、

FeSO₄・7H₂O 8.0(g/l)

CoSO₄・7H₂O 0.3(g/l)

NiSO₄・6H₂O 3.5(g/l)

H₃BO₃ 2.5(g/l)

マロン酸 0.01(g/l)

NaCl 2.5(g/l)

ラウリル硫酸Na 0.01(g/l)

であった。また浴条件は上記(比較例)の(浴条件)とほぼ同じであるが、パルス電流の電流密度を5mA/cm²まで低くした。パルス電流の電流密度としては5mA/cm²は限界であり、これ以上、低くすると、保磁力の低減が困難となり良好な軟磁気特性を得ることができず、最悪の場合、メッキ形成を行うことが困難になる。

【0083】

比較例3の軟磁性膜に対しTOF-SIMSにより負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度を測定し、その比(Cl/Fe)を求めたところ前記比(Cl/Fe)はほぼ1.0であった。

【0084】

次に、比較例4の軟磁性膜の形成のために使用したメッキ浴組成は、

FeSO₄・7H₂O 9(g/l)

CoSO₄・7H₂O 0.3(g/l)

NiSO₄・6H₂O 1.0(g/l)

H₃BO₃ 2.5(g/l)

マロン酸 0.02(g/l)

NaCl 2.5(g/l)

ラウリル硫酸Na 0.01(g/l)

サッカリンナトリウム 1(g/l)

であった。また浴条件は上記(比較例)の(浴条件)と同じである。比較例4ではメッキ浴中にサッカリンナトリウムを添加している。

【0085】

比較例4の軟磁性膜に対しTOF-SIMSにより負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度を測定し、その比(Cl/Fe)を求めたところ前記比(Cl/Fe)は、実施例1、2と同程度にまで低くなることがわかった。

【0086】

図8に示すように、実施例1、2の前記比(Cl/Fe)は、NaClを含みサッカリ

ンナトリウムを含まないメッキ浴から形成された比較例 1 ~ 3 のいずれに比べても低くなることがわかった。特に、パルス電流の電流密度を限界まで小さくした比較例 3 では、比較例 1、2 に比べて前記比 (Cl / Fe) が小さくなるもののそれでも前記比 (Cl / Fe) は 1.0 が限界であった。本実施例では少なくとも比 (Cl / Fe) を 1.0 未満に出来る。また実施例 1 の比 (Cl / Fe) は約 0.7 で、実施例 2 の比 (Cl / Fe) は約 1.8 であったので、本実施例では、前記比 (Cl / Fe) を 2 以下に抑えることが可能である。

【0087】

ところで上記したように（実施例）の（メッキ浴組成）には $NaCl$ が含有されていないが、それでも表 3 に示すように Cl のイオン強度が 0 にならないのは、浴媒や浴質中、空气中やあるいはメッキ槽内に付着していた不可避免的な塩素によるものである。しかしこのような不可避免的な塩素があっても比較例と違ってメッキ浴に $NaCl$ を添加しないことで比 (Cl / Fe) を 1.0 未満に抑えることができ、好ましくは比 (Cl / Fe) を 2 以下にすることが可能である。

【0088】

次に、比 (S / Fe) をまとめたグラフが図 9 である。図 9 に示すようにサッカリンナトリウムを含むメッキ浴から形成された比較例 4 の前記比 (S / Fe) は、他の試料と比べて非常に大きくなっていることがわかった。実施例 1 の比 (S / Fe) は 5.1、実施例 2 の比 (S / Fe) は 7.7 であり、いずれも比 (S / Fe) が 1.0 未満となることがわかった。

【0089】

以上の実験結果から、本実施例では、TOF-SIMS による測定にて負の電荷を帯びた Fe のイオン強度と Cl のイオン強度の比 (Cl / Fe)、及び前記 Fe のイオン強度と S のイオン強度の比 (S / Fe) を、夫々 1.0 未満と規定した。

【0090】

なお、本実施例では、メッキ浴中に $NaCl$ を添加しないため、 pH 変動抑制のためにホウ酸を比較例のメッキ浴に比べて多く添加しているが、表 3 に示すように、負の電荷を帯びた BO_2^- (2.6) や BO_3^- (4.3) のイオン強度は、実施例よりも比較例のほうが大きくなった。よって BO_2^- (2.6) 等に関しては、単純に、ホウ酸をたくさんメッキ浴中に添加したからイオン強度が大きくなるというものでないことがわかった。

【0091】

次に、上記した実施例 1、2 および比較例 1、2 の試料を用いて、TOF-SIMS により正の電荷を帯びた二次イオンの強度を求めた。表 4 に正の電荷を帯びた二次イオンの強度を掲載した。

【0092】

【表 4】

表 4

	Na(23)	Fe(56)	Co(59)	Ni(58)	Na%
比較例1	20233	784478	85061	89856	2.1
比較例2	18755	703416	283856	61810	1.8
実施例1	1015	486484	163051	299655	0.1
実施例2	459	727214	265829	75945	0.04

10

20

30

40

【0093】

なお表 4 に示す括弧書きは質量を示している。表 4 に示すように、実施例 1, 2 の Na (23) のイオン強度は、比較例 1, 2 の Na (23) のイオン強度に比べてかなり小さくなっている。

【0094】

図 10 は表 4 の測定結果から求めた各試料の Na のイオン強度比 $\left[\{ \text{Na} / (\text{Na} + \text{Fe} + \text{Co} + \text{Ni}) \} \times 100 \right] (\%)$ である。図 10 に示すように、Na のイオン強度比は、実施例 1, 2 のほうが、比較例 1, 2 に比して非常に小さくなった。実施例 1 での Na イオン強度比は 0.1 (%) 程度、実施例 2 での Na イオン強度比は 0.04 (%) 程度であった。一方、比較例 1 での Na イオン強度比は 2.1 (%) 程度、比較例 2 での Na

50

a イオン強度比は1.8(%)程度であった。

【0095】

この実験結果からNaイオン強度比を少なくとも1.5(%)以下に抑えることが好ましく、より好ましくは1.0(%)以下であることがわかった。

【図面の簡単な説明】

【0096】

【図1】本実施形態の垂直磁気記録ヘッドの構造を示す断面図、

【図2】他の本実施形態の垂直記録磁気ヘッドの断面図、

【図3】図1に示す矢印方向から保護層13を除去した状態で前記垂直記録磁気ヘッドを見たときの部分平面図、

【図4】別の本実施形態における薄膜磁気ヘッド(長手磁気記録ヘッド)の正面図(記録媒体との対向面から見た面)、

【図5】図4に示すA-A線から切断し矢印方向から見た断面図、

【図6】本実施形態における変調パルスのタイミング図、

【図7】NaClを添加しないメッキ浴からメッキ形成した実施例1、2、及びNaClを添加したメッキ浴からメッキ形成した比較例1、2の各試料の飽和磁束密度Bsを示すグラフ、

【図8】実施例1、2及び比較例1、2、3、4(比較例3は、NaClを添加したメッキ浴からメッキ形成したものであり、特に電流密度を限界まで小さくしてメッキしたもの。比較例4は、NaCl及びサッカリンナトリウムを添加したメッキ浴からメッキ形成したもの)の各試料をTOF-SIMSにて測定したときの負の電荷を帯びたFeのイオン強度とClのイオン強度の比(Cl/Fe)を示すグラフ、

【図9】実施例1、2及び比較例1、2、3、4(比較例3は、NaClを添加したメッキ浴からメッキ形成したものであり、特に電流密度を限界まで小さくしてメッキしたもの。比較例4は、NaCl及びサッカリンナトリウムを添加したメッキ浴からメッキ形成したもの)の各試料をTOF-SIMSにて測定したときの負の電荷を帯びたFeのイオン強度とSのイオン強度の比(S/Fe)を示すグラフ、

【図10】実施例1、2及び比較例1、2の各試料をTOF-SIMSにて測定したときの正の電荷を帯びたNaのイオン強度比(%)を示すグラフ、

【符号の説明】

【0097】

2.1 補助磁極層

2.4 主磁極層

2.7 コイル層

3.5 ヨーク層

5.1 下部コア層

6.1 下部磁極層

6.3 上部磁極層

6.4 磁極部

6.5 上部コア層

10

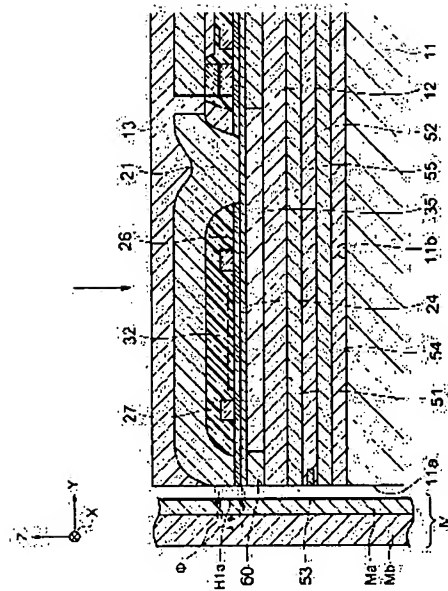
20

30

40

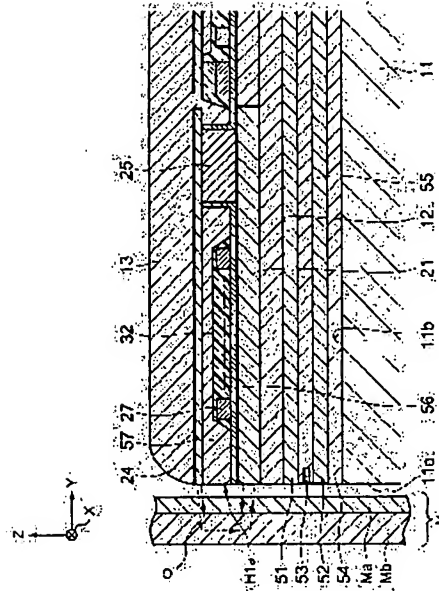
【图 1】

一、



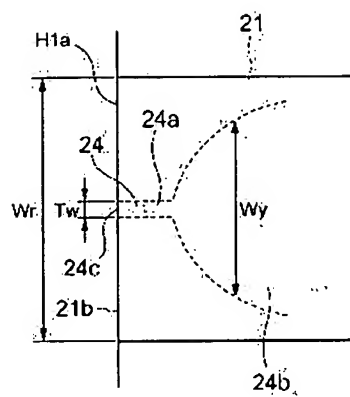
【图 2】

· 28 ·



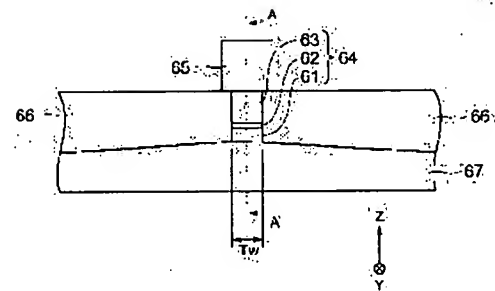
【图 3】

圖3



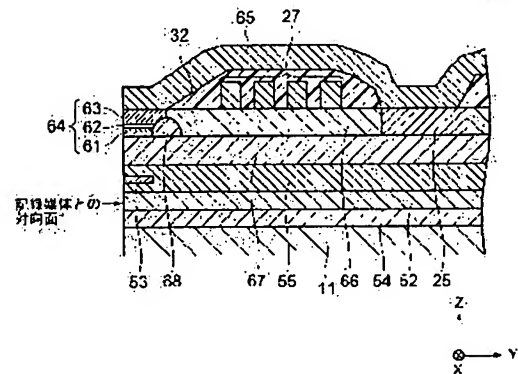
【图 4】

B4



【图 5】

图5



【図6】

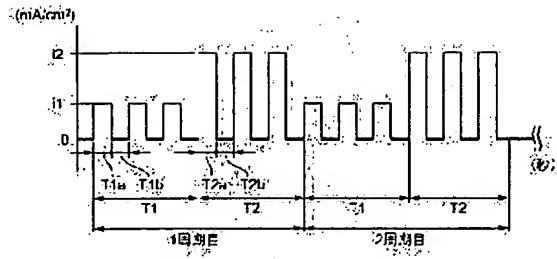
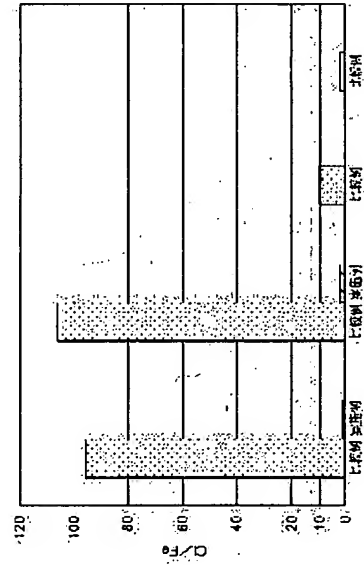


図6

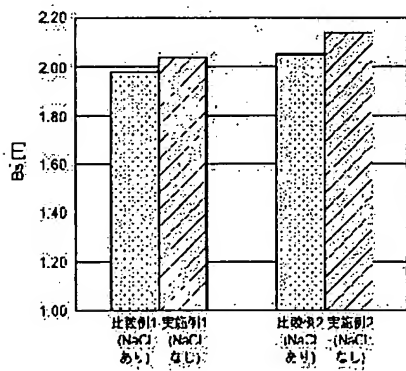
【図8】

図8



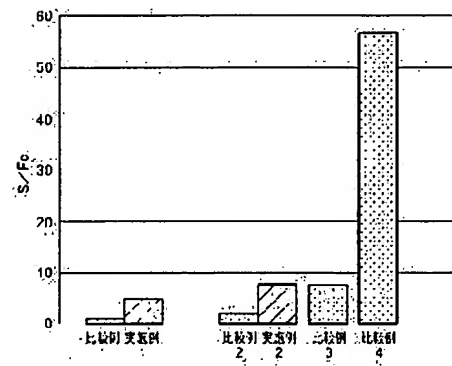
【図7】

図7



【図9】

図9



【図10】

図10

